

GEODEZYJNE METODY BADANIA SKUTECZNOŚCI PRAC ZABEZPIECZAJĄCYCH W WYROBISKACH ZABYTKOWYCH KOPALŃ SOLI (NA PRZYKŁADZIE KS „WIELICZKA”)

**Geodetic methods of examining the efficiency of security measures
in the old workings of historic salt mines
(focus on the “Wieliczka” Salt Mine)**

Jadwiga MACIASZEK & Jacek SZEWCZYK

*AGH Akademia Górniczo-Hutnicza, Wydział Geodezji Górniczej i Inżynierii Środowiska;
al. A. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków;
e-mail: maciasze@agh.edu.pl*

Treść: Górotwór solny ma cechy górotworu plastycznego lub półplastycznego, reagującego specyficznie na istnienie w nim pustek poeksploatacyjnych. Wyrazem tej specyfiki jest występowanie tu procesu wolnego zaciskania wyrobisk górniczych (zarówno wyrobisk chodnikowych, jak i komór). Proces ten można obserwować i prognozować z dużym prawdopodobieństwem. Przeprowadzone analizy wyników geodezyjnych obserwacji pozwalają ocenić wpływ prac zabezpieczających (podsadzania; w latach 2005–2010 wprowadzono do wyrobisk kopalnianych średnio 100 000 m³ podsadzki rocznie) na proces kształtowania się deformacji. Wpływ tych zabiegów uwidacznia się obecnie w rejonie szybu „Kościuszko” – nastąpiło tam znaczne zahamowanie prędkości obniżen (o blisko 60%). Jest to przy tym centrum niecki obniżeniowej, lecz rejon ten jest peryferyjny w stosunku do zabudowy miejskiej i zabytkowych części kopalni. W pozostałych rejonach proces obniżen wykazuje stałą lub nieznacznie zmieniającą się prędkość, a nawet niewielkie przyspieszenie. Wykonywana obecnie analiza rozkładu prędkości konwergencji oraz zmian rozstawu szczelin umożliwi postawienie dalszych wniosków na temat skuteczności prac zabezpieczających.

Słowa kluczowe: deformacje górnicze, Kopalnia Soli „Wieliczka”

Abstract: Salt rock mass has the characteristics of plastic or semi-plastic rock mass, reacting specifically to the occurrence of post-exploitation voids in it. This specific feature is manifested in the occurrence of the process of slow convergence of old workings (both galleries and chambers). This process can be observed and predicted with large probability. The carried out analyses of the geodetic observations allows the assessment of the influence of security measures (stowing; in 2005–2010 on average 100,000 m³ were put into the workings) on the deformation process. The influence of these measures is now seen in the region of shaft “Kościuszko”; there was a significant decrease in the speed of subsidence (by nearly 60%). This is the centre of the subsidence trough, but this region is peripheral in the relation to the urban buildings and historic parts of the mine. In other regions the process of subsidence shows constant or slightly changing speed, and even small acceleration. The carried out now analysis of the distribution of the convergence speed and changes of the layout of changes in the opening of the cracks, will enable us to make further conclusions about the efficiency of security measures.

Key words: mining deformations, “Wieliczka” Salt Mine

WSTĘP

Kopalnia Soli „Wieliczka” stanowi obiekt najwyższej rangi zabytkowej; znajduje się na Liście Światowego Dziedzictwa Kulturowego i Przyrodniczego UNESCO od chwili jej utworzenia (1978 r.). W 1989 r. kopalnia znalazła się także na innej liście: Światowego Dziedzictwa w Zagrożeniu. Nieco późniejsze wypadki – wdarcie się wody do chodnika Mina w 1992 r. – mogły jedynie umocnić pozycję kopalni na tej drugiej liście.

Zagrożeniem dla wyrobisk kopalni, a także powierzchni nad kopalnią, są ruchy naturalne i technogenne (antropogenne). Do pierwszych należą pływy wywołane przez ciała niebieskie (Słońce i Księżyc), mające marginalne znaczenie, a także ruchy neotektoniczne, powodowane aktywnością orogeniczną Karpat (na przedpolu ich położona jest Wieliczka). Ruchy neotektoniczne badano w latach 2001–2004 w ramach projektu badawczego, finansowanego przez KBN (Kortas red. 2004); rezultaty tych badań wskazują na występowanie przemieszczeń, które wiązać można z orogenezą karpacką, lecz wielkość tych ruchów jest na tyle mała, iż uwidocznić się one mogą w pomiarach w okresie co najmniej kilkunastu lat. Podstawowy wpływ na wyrobiska i powierzchnię wywierają ruchy związane z aktywnością górnictwem, trwającą od wielu wieków.

Zakończenie w 1993 r. wielowiekowej eksploatacji soli w Wieliczce nie stanowi o końcu procesu ruchów górotworu i powierzchni terenu. Charakter górotworu solnego powoduje, że występuje tu stopniowe zaciskanie wyrobisk, przekazywane na powierzchnię jako deformacje pogórniczne. Na ich powstawanie wpływają także wycieki wodne w kopalni oraz w otaczającym górotworze, które mogą przynieść katastrofalne nawet skutki. Z procesem deformacji związane są w pewnym stopniu także osuwiska, występujące na południowych i północnych stokach wzgórz, otaczających miasto i kopalnię. W zasięgu wpływów znajduje się miasto Wieliczka; deformacjom podlega też zabytkowa część kopalni (około 10% jej wyrobisk), mająca nader ważne znaczenie historyczne i turystyczne. Równocześnie prowadzone prace zabezpieczające (podsadzanie wyrobisk) przyczyniają się do redukcji szkodliwych wpływów górnictwem.

Współistnienie tych procesów powoduje, że konieczne jest prowadzenie badań nad wielkością deformacji i skutecznością zabiegów zabezpieczających. Celem badań jest określenie wielkości i zasięgu ruchów górotworu i powierzchni terenu, wywołanych procesem zaciskania się wyrobisk górnictwem oraz wpływem wycieków wodnych. Rezultaty tych badań pozwalają na określenie i weryfikację modelu deformacji pogórnictwem, umożliwiającego:

- stwierdzanie występowania bieżących zagrożeń, mających swe źródło w ewentualnej intensyfikacji ruchów w skali lokalnej;
- stwierdzanie przejawiania się ewentualnych zmian w dotychczasowym kształtowaniu się deformacji, wypływających z faktu prowadzenia robót zabezpieczających na poziomach kopalni;
- weryfikację modeli deformacji (osiadań i odkształceń właściwych) górotworu i powierzchni terenu;
- przybliżone prognozowanie ruchów deformacyjnych na najbliższą przyszłość na drodze ekstrapolacji.

Na podstawie rezultatów pomiarowych można stwierdzić, że na terenie górniczym Wieliczki zaznaczają się dwie niecki obniżeniowe. Pierwsza z nich obejmuje swym zasięgiem centralną część miasta, sięgając na północy ul. Brata A. Kosiby i parku im. A. Mickiewicza, na zachodzie dochodząc do Podlesia i Grabówek, na południu – Sierczy, a na wschodzie – rejonu szybu „Wilson”. Niecka jest wyraźnie wydłużona w kierunku równoleżnikowym, co wiąże się zarówno z morfologicznym ukształtowaniem terenu, jak i zaleganiem złoża oraz położeniem wyrobisk kopalnianych. Powierzchnia niecki wynosi około 3.5 km² i tworzy prostokąt o boku równoleżnikowym około 3.5 km oraz boku południkowym 1 km. Jej centrum znajduje się w rejonie szybu „Kościeszko”; maksymalne obniżenie w latach 1970–2010 wynosiło 1650 mm. Można szacować, że eksploatacja w XX wieku spowodowała obniżenie w tym rejonie, przekraczające 3 m, a od 1960 r. – blisko 2 m (Kortas 2007). Niecka obniżeniowa pozostawała pod wpływem dwóch zasadniczych czynników: procesu zaciskania wyrobisk poeksploatacyjnych oraz deformacji wskutek sufozji wodnej w rejonie wycieku wody do poprzeczni „Mina”. Wpływ tych czynników nakładał się częściowo na siebie, choć w sposób zróżnicowany przestrzennie i czasowo. Sumaryczna objętość niecki wynosi około 2600 tys. m³; przyrost objętości wynosi około 40 tys. m³/rok (za lata 1930–2010 średni przyrost jest mniejszy i wynosi około 35 tys. m³/rok) (Kortas 2007). Zestawienie tej wielkości z objętością wyrobisk jest trudne, zwłaszcza wobec niemożliwości określenia położenia i kubatury ich części. Według oszacowań G. Kortasa (na podstawie opracowań J. Wójcika) największa objętość wyrobisk występowała około 1980 r. i wynosiła około 6500 tys. m³. Wielkość ta maleje w ostatnim okresie, a przyrost objętości niecki wskutek zaprzestania wydobywania, prowadzenia prac podsadzkowych (ogółem w latach 2005–2010: 515 248.7 m³ podsadzki) i procesu zaciskania wyrobisk ulega pewnemu zahamowaniu.

Druga niecka, o znacznie mniejszych rozmiarach (1.5 km w kierunku równoleżnikowym i 0,7 km w kierunku południkowym), ma swoje centrum w Lednicy Górnej, przy ul. Gdowskiej; na zachodzie niecka ta styka się z pierwszą nieką, na wschodzie osiąga Tomaszkowice. Centrum niecki w Lednicy Górnej wykazało w latach 1970–2005 obniżenie, wynoszące maksymalnie 471 mm. Powstanie pierwszej niecki wiąże się z zaciskaniem wyrobisk centralnej części kopalni, druga niecka związana jest z zaciskaniem wyrobisk peryferyjnych, eksploatowanych wspólnie we wschodniej części kopalni.

Na podstawie analizy prędkości obniżenia można stwierdzić, że proces obniżenia w obrębie pierwszej niecki ulega pewnemu hamowaniu (szczególnie w rejonie szybu „Kościeszko”) lub pozostaje stały (w rejonie szybu „Kinga”). Wskazują na to porównania szybkości obniżenia w pięciu okresach: 1970–2010, 1984–2010, 1996–2010, 2000–2010 oraz 2005–2010. W rejonie szybu „Kościeszko” odpowiednie wartości wynoszą: 44 mm/rok, 38 mm/rok, 35 mm/rok, 21 mm/rok i 20 mm/rok. Odpowiednie wielkości dla szybów „Kinga” i „Daniłowicz” kształtują się następująco:

- szyb „Kinga”: 21 mm/rok, 18 mm/rok, 18 mm/rok, 17 mm/rok i 16 mm/rok,
- szyb „Daniłowicz”: 19 mm/rok, 15 mm/rok, 15 mm/rok, 14 mm/rok i 14 mm/rok.

Należy także zauważyć, że prędkość osiadania maleje w rejonie osuwiska w Sierczy, a także na północy. Można stwierdzić, że stopień zmniejszenia intensywności obniżenia jest większy na peryferiach niecki, co dowodzi zmniejszania się zasięgu oddziaływania wyrobisk na powierzchnię terenu.

Powierzchnia terenu w rejonach szybów „Regis” i „Boża Wola” obniża się wyraźnie wolniej niż rejon głównych szybów kopalnianych. Prędkość obniżeń wynosi tu poniżej 10 mm/rok i jest w zasadzie stała. Rejon peryferyjnego w stosunku do centralnych wyrobisk kopalnianych szybu „Wilson” pozostaje stabilny; obniżenia powierzchni wynoszą około 1 mm/rok.

W przypadku drugiej niecki proces hamowania obniżeń nie jest już zauważalny; prędkość obniżeń pozostaje w zasadzie stała, z pewną tendencją do wzrostu (odpowiednie prędkości obniżeń wynoszą: 12 mm/rok, 13 mm/rok, 14 mm/rok, 14 mm/rok, 15 mm/rok). Obniżenia te są wynikiem uwidaczniania się wpływów procesu zaciskania wyrobisk, eksploatowanych na poziomach IV–VI.

Rezultaty obserwacji deformacji powierzchni terenu w rejonie głównych szybów kopalnianych wskazują więc na stałe jej obniżenie (z tendencją do hamowania procesu), wynoszące w ostatnich latach około 15 mm/rok wokół szybów „Kinga” i „Daniłowicz” oraz około 20 mm/rok wokół szybu „Kościszko”. Wpływ procesu zaciskania wyrobisk w centralnej części kopalni na powierzchnię terenu również wykazuje stabilność. Przejawia się tendencja do zmniejszania się intensywności obniżeń w miarę upływu czasu. Przyczyny tego można upatrywać we wpływie podsadzania wyrobisk. Takie zmniejszenie nie jest obserwowalne we wschodniej części terenu, gdzie ujawnia się wpływ zaciskania niezlikwidowanych wyrobisk.

Przemieszczenia poziome i odkształcenia poziome nad centralną częścią kopalni są wyraźnie związane z niecką obniżeniową. Przechodząca przez nią linia obserwacyjna „Kościszko” wskazuje na występowanie odkształceń ściskających w rejonie szybu „Kościszko”, wynoszących do $-2,0\%$. Zaobserwowane w innych rejonach przemieszczenia i odkształcenia wiązać należy z procesami osuwiskowymi zachodzącymi na stokach wzgórz okalających Wieliczkę z północy i południa. Część przemieszczeń może być spowodowana niezidentyfikowanymi ruchami gruntowymi (głównie w południowej części obszaru), powodującymi ruch punktów pomiarowych w kierunku wschodnim (niezwiązanym z nachyleniem zboczy).

Nachylenia brzegów niecki (poza rejonem sufozji) wzrosły maksymalnie w rozpatrywanym okresie o 0,4 mm/m w rejonie szybu „Kościszko”. Maksymalne nachylenie od 1970 r. osiągnęło 5 mm/m i występuje na zachód od szybu.

BADANIA DEFORMACJI GÓROTWORU

Rozkład pionowego ruchu w strefach poszczególnych szybów uzyskuje się przez porównanie wysokości punktów zastabilizowanych na podszybiach; wysokości te określa się przez przeniesienie wysokości za pomocą taśmy szybowej. Po każdej serii pomiarowej istnieje zatem możliwość porównania wysokości odpowiednich reperów z wysokościami określonymi w serii poprzedniej (w celu scharakteryzowania ruchu okresowego) oraz w serii początkowej (w celu scharakteryzowania ruchu całkowitego). Pozwala to na dokonanie ogólnej charakterystyki ruchu górotworu w rejonie szybów.

Zgodnie z wynikami obserwacji i rezultatami ich opracowania, prędkości ruchu pionowego na poszczególnych poziomach szybów kopalni wykazują dość znaczne zróżnicowanie. To zróżnicowanie prędkości powoduje występowanie pionowych odkształceń właściwych, charakteryzujących ruch górotworu będący potencjalnym zagrożeniem dla wyrobisk.

Analiza wyników pomiarów pozwala stwierdzić, że ogólny stan deformacji wykazuje stabilność (z tendencją do stopniowego wzrostu odkształceń pionowych, zarówno ściskających, jak i rozciągających, w miarę upływu czasu). Ogólny trend w charakterze i wielkości pionowego ruchu górotworu ujawnia się bardziej wyraziście w przypadku dłuższych okresów prowadzenia obserwacji. W przypadku bowiem górotworu półplastycznego, jakim jest górotwór wielicki, procesy deformacyjne przebiegają wolno, a bezwzględne wielkości przemieszczeń są bardzo małe. Wnioski można więc formułować tylko na podstawie rezultatów długotrwałych obserwacji, operując uśrednieniami i omijając w ten sposób nieuniknione odchyłki przypadkowe, wynikające tak z dokładności obserwacji, jak i ze stochastycznego charakteru samego procesu.

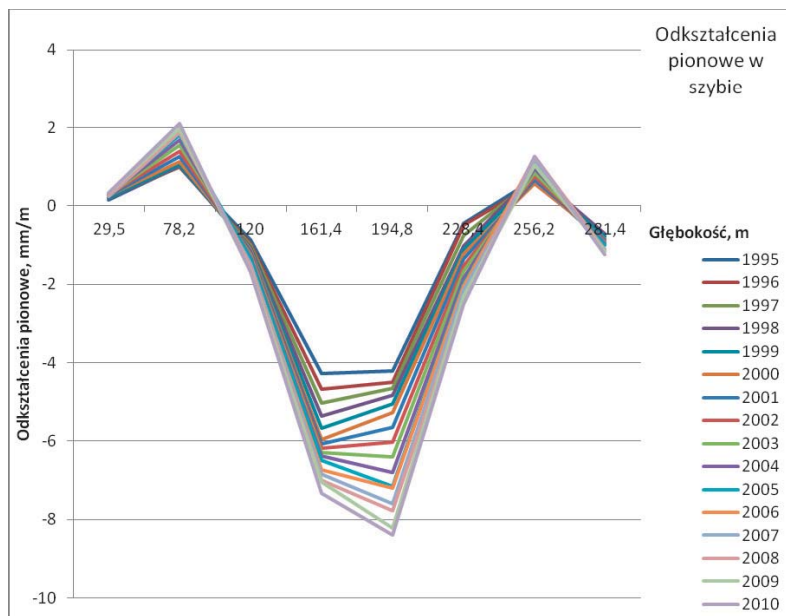


Fig. 2. Wykres rozkładu odkształceń pionowych w szybie kopalni „Wieliczka”

Fig. 2. The graph of the distribution of vertical strains in the shaft of “Wieliczka” mine

Wykres (Fig. 2) ukazuje rozkład odkształceń pionowych w jednym z głównych szybów kopalni w funkcji czasu (w stosunku do 1990 r., w odstępach rocznych, począwszy od 1995 r.).

Zgodnie z dotychczasowymi rezultatami obserwacji celowe jest przeprowadzenie analizy nie tylko dla poszczególnych poziomów kopalni, lecz dla całych wydzielonych pakietów tych poziomów, obejmujących:

- poziomy wykazujące najbardziej intensywny ruch (poziomy I–III lub IV);
- poziomy, na których następuje zahamowanie ruchu (poziomy IV lub V–VI);
- poziomy praktycznie nieruchome (poziomy VII i VIII).

Łączne rozpatrzenie kompleksów poziomów stwarza także możliwość gęstszego pokrycia rejonu siecią reperów. Eliminuje to w pewnym stopniu niekorzystne skutki braku takich punktów w niektórych częściach poszczególnych poziomów, spowodowane niedostępnością wyrobisk (głównie poprzeczni) i trudnościami w stabilizacji oraz obserwowaniu dodatkowych, poza istniejącymi, punktów wysokościowych. Można zatem zestawić parametry osiadań głównych rejonów centralnej części wyrobisk (Tab. 1).

Tabela (Table) 1
Wskaźniki osiadań w obserwowanych rejonach
Subsidence indexes in the observed regions

Rejon/poziom	Średnia prędkość obniżeń [mm/rok]	Prędkość obniżeń okresowych 2005–2010 [mm/rok]
Rejon szybu i na NE od szybu „Kinga”		
Powierzchnia	15	16
Poziom I	16	17
Poziom II wyższy	17	17
Poziom III	20	17
Poziom IV	20	14
Rejon szybu „Daniłowicz”		
Powierzchnia	18	14
Poziom I	15–19	14–18
Poziom II niższy	17	13
Poziom III	16–20	14–16
Rejon na NE od szybu „Daniłowicz”		
Powierzchnia	14	13
Poziom I	14	12
Poziom II niższy	10–15	12
Poziom III	14–16	14

Pierwszy z przedstawionych rejonów obejmuje obszar wokół szybu „Kinga” oraz wyrobiska, położone na północ i północny wschód od szybu. Deformacje w tym rejonie świadczą o sytuacji nad miejscem wycieku wody do poprzeczni Mina na poziomie czwartym.

Wielkości obniżeń punktów znajdujących się na poziomach drugim wyższym oraz trzecim wskazują na stosunkowo równomierne osiadanie całego pakietu górotworu (z prędkością 15–20 mm/rok). Intensywność ruchów maleje w miarę oddalania się od szybu w kierunku chodnika Mina. Jedynie repery w pobliżu szybu osiadają z większą intensywnością. Osiadanie tego rejonu zachodzi głównie pod wpływem zaciskania się wyrobisk niżej leżących

(poziom czwarty, międzypoziom Kołobrzeg i poziom piąty). W ostatnim okresie zauważa się zmniejszenie intensywności ruchów (łącznie z wystąpieniem wypiętrzeń nad chodnikiem Mina).

W drugim z wyróżnionych rejonów – wokół szybu „Daniłowicz” – pomiary przeprowadzone na poziomach pierwszym, drugim niższym i trzecim wskazują, że wymienione poziomy osiadają równocześnie z jednakową prędkością około 15–20 mm/rok. W ostatnim okresie prędkość ta jest nieco mniejsza od średniej.

Trzeci z wyróżnionych rejonów charakteryzuje sytuację wokół komory „Przanowski” i trwającego tam wycieku wodnego. W tym rejonie występują obniżenia nieco mniejsze, niż w pobliskim rejonie szybu „Daniłowicz”; prędkość osiadań wynosi tu 10–16 mm/rok. W okresie ostatnim prędkość nieznacznie zmalała.

Kompleksowa analiza rozkładu pionowego ruchu górotworu w centralnym rejonie kopalni „Wieliczka”, przeprowadzona na podstawie rezultatów obserwacji niwelacyjnych na powierzchni i w wyrobiskach korytarzowych, wskazuje, że cały obszar rozciągający się od szybu „Daniłowicz” do szybu „Kościuszko” od powierzchni do poziomu trzeciego objęty jest nieką obniżeniową, zalegającą równoleżnikowo, nieco nachyloną ze wschodu na zachód. Część denna tej niecki, obejmująca strefy szybów „Daniłowicz”, „Kinga” i „Kościuszko”, przechodzi na zachodzie i północy w bardziej nachylone skrzydła, a na wschodzie i południu – w łagodne strefy brzeżne. Niecka obniżeniowa ukształtowała się przede wszystkim w rezultacie zaciskania się wyrobisk skoncentrowanej eksploatacji modularnej na poziomie czwartym, międzypoziomie Kołobrzeg oraz na poziomie piątym. Ruch pionowy w partii górotworu, obejmującej poziomy: czwarty, międzypoziom Kołobrzeg i piąty, ulega, zwłaszcza na zachodzie, zahamowaniu; bezwzględne wartości osiadań średniorocznych i okresowych na tych poziomach są mniejsze niż w kompleksie poziomów, obejmującym powierzchnię i poziomy I–III. Natomiast poziomy VI–VIII wykazują niewielkie obniżenia, ujawniające się tylko w analizie wieloletnich obserwacji i zachodzące pod wpływem zaciskania komór ługowniczych znajdujących się na najniższych poziomach.

Prędkość przemieszczeń pionowych, obserwowanych na poszczególnych poziomach kopalni, stanowi wskaźnik pozwalający na scharakteryzowanie ruchu górotworu, a zwłaszcza na dokonanie podziału poziomów między kompleksy (pakiety) wykazujące zbliżone osiadanie. Charakterystykę ruchów górotworu oparto na określonych na wszystkich poziomach obniżeniach reperów. Zmiany prędkości obniżeń poziomów kopalni przedstawiono również na figurze 3.

Z porównania przytoczonych w tabeli 2 wartości wynika, że w grupie poziomów wyższych, obejmujących poziomy pierwszy, drugi wyższy i niższy oraz trzeci, występują zbliżone prędkości osiadań (14–18 mm/rok). Repery na poziomie czwartym i piątym osiadają w mniejszym stopniu (11–15 mm/rok). Na poziomach najniższych (szóstym, siódmym i ósmym) prędkość obniżeń jest niewielka (0,8–7,3 mm/rok) i maleje ze wzrostem głębokości położenia poziomu. Cały kompleks poziomów wyższych wraz z powierzchnią zachowuje się zatem jak jedna bryła, osiadająca nad poziomami niższymi (w których występuje największa koncentracja wyrobisk eksploatacji modularnej). W rejonie poziomu czwartego i piątego następuje więc wyhamowanie ruchu pionowego. Ruch poziomów najniższych jest minimalny i powstaje zapewne wskutek wpływu zaciskania położonych tam komór ługow-

nicznych. Zatem zagrożenie dla powierzchni i zabytkowej części kopalni występuje wskutek zaciskania się wyrobisk na środkowych i częściowo na niższych poziomach. Wskazuje to na konieczność podsadzania w pierwszej kolejności tych właśnie poziomów, jako zagrażających bezpieczeństwu poziomów wyższych i powierzchni terenu.

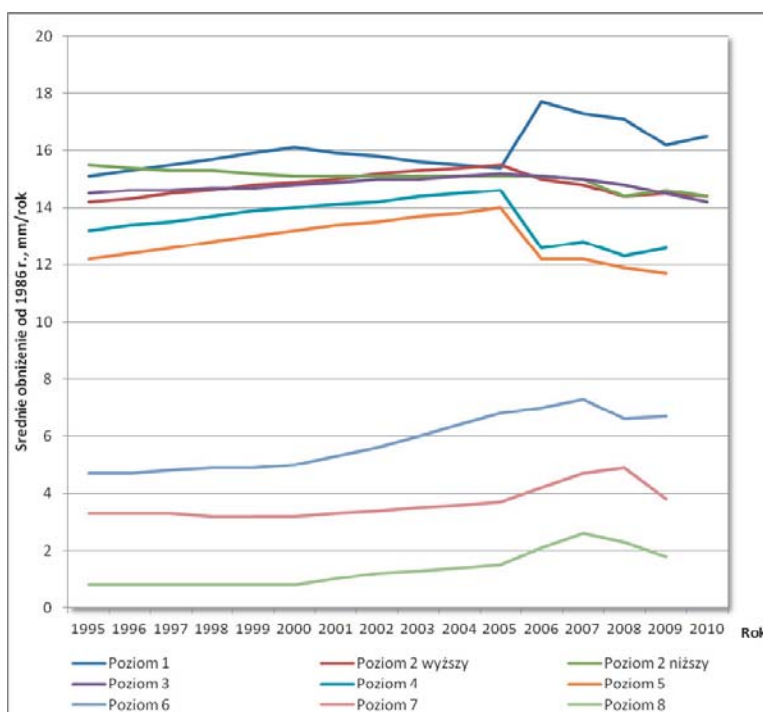


Fig. 3. Średnie prędkości obniżeń poziomów kopalni w latach 1995–2010

Fig. 3. Mean rates of subsidence in mine levels in 1995–2010

Tabela (Table) 2

Średnie prędkości obniżeń poszczególnych poziomów w latach 1986–2010 [mm/rok]
Mean rates of subsidence in respective levels in 1986–2010 [mm/year]

Poziom	1986 – 1995	1986 – 2000	1986– 2005	1986– 2006	1986– 2007	1986– 2008	1986– 2009	1986 – 2010
	średnia	średnia	średnia	średnia	średnia	średnia	średnia	średnia
Poziom I	15.1	16.1	15.4	17.7	17.3	17.1	16.2	16.5
Poziom IIw	14.2	14.9	15.5	15.0	14.8	14.4	14.5	14.4
Poziom IIIn	15.5	15.1	15.1	15.1	15.0	14.4	14.6	14.4

Table (Tabela) 2 cont. / cd.

Poziom	1986 – 1995	1986 – 2000	1986– 2005	1986– 2006	1986– 2007	1986– 2008	1986– 2009	1986 – 2010
	średnia	średnia	średnia	średnia	średnia	średnia	średnia	średnia
Poziom III	14.5	14.8	15.2	15.1	15.0	14.8	14.5	14.2
Poziom IV	13.2	14.0	14.6	12.6	12.8	12.3	12.6	–
Poziom V	12.2	13.2	14.0	12.2	12.2	11.9	11.7	–
Poziom VI	4.7	5.0	6.8	7.0	7.3	6.6	6.7	–
Poziom VII	3.3	3.2	3.7	4.2	4.7	4.9	3.8	–
Poziom VIII	0.8	0.8	1.5	2.1	2.6	2.3	1.8	–

Można zaobserwować tendencję do zmniejszenia prędkości obniżeń na niemal wszystkich poziomach, choć zmiany te mieszczą się w granicach błędów przeniesienia wysokości do kopalni.

BADANIA SZCZELINOWATOŚCI GÓROTWORU

Szczelinowatość górotworu, a szczególnie szczelinowatość w wyrobiskach i skałach zalegających bezpośrednio nad wyrobiskiem i tworzących strop, ma niewątpliwy wpływ na aktywność wyrobiska i jego bezpieczeństwo. Wynika ona z podzielności skał, czyli zdolności do dzielenia się ich na bloki wzdłuż pewnych płaszczyzn. Płaszczyzny te są zwykle widoczne w obserwacjach makroskopowych, są też zorientowane przestrzennie. Przy braku wyraźnego odstepu między powierzchniami oddzielności występują spękania; przy wyraźnych odstępach – szczeliny (Siembab 1970, Nieć 1982).

Szczeliny w górotworze tworzą zazwyczaj systemy związane z konkretnym procesem deformacji. Wskaźnikami szczelinowatości określa się wielkości, pozwalające na pełną charakterystykę przestrzennego usytuowania szczeliny oraz jej przynależności do odpowiedniego systemu szczelin. Do wskaźników tych zalicza się: kierunek rozciągłości płaszczyzny lub powierzchni szczeliny, kąt nachylenia szczeliny, rozmiary szczeliny, częstotliwość występowania szczelin tego samego systemu (względnie odstęp dwóch szczelin systemu), łatwość odspajania się skały wzdłuż szczeliny.

Ze względu na prowadzenie w Wieliczce obserwacji szczelinowatości w górnej części złoża (w złożu bryłowym) nie jest możliwe wyróżnienie systemów szczelin (bryły wykazują znaczne zróżnicowanie położenia i budowy). Obserwacje szczelin ograniczono do badania zmian rozstawu między punktami znajdującymi się na przeciwległych brzegach. Częstotliwość pomiarów była zmienna; początkowo obserwacje wykonywano co kwartał, następnie ograniczono się do cykli corocznych.

Aktywność szczelin przejawia się w zróżnicowany sposób. Znaczna część wartości uzyskanych z pomiarów jest bliska błędowi ich wyznaczania. W przypadku występowania wyraźnych zmian rozstępu brzegów szczelin najczęściej obserwowana jest liniowa zależność ich kształtowania się w jednostkach czasu. Do rzadkości należą przypadki występowania zróżnicowanych ruchów (np. przemiennych wartości rozwarć i zaciskań); przykłady takich ruchów zazwyczaj dotyczą wielkości na granicy błędów pomiarowych.

W celu zilustrowania charakteru aktywności szczelin na figurze 4 przedstawiono kształtowanie się w jednostkach czasu zmian odległości między punktami zastabilizowanymi na obu brzegach szczeliny. W przypadku chodnika Sielec i komór Staszica oraz Piłsudskiego obserwuje się zmiany o charakterze liniowym; w przypadku Kaplicy św. Kingi – niewielkie zmiany o znakach przemiennych, przynajmniej w początkowym okresie.

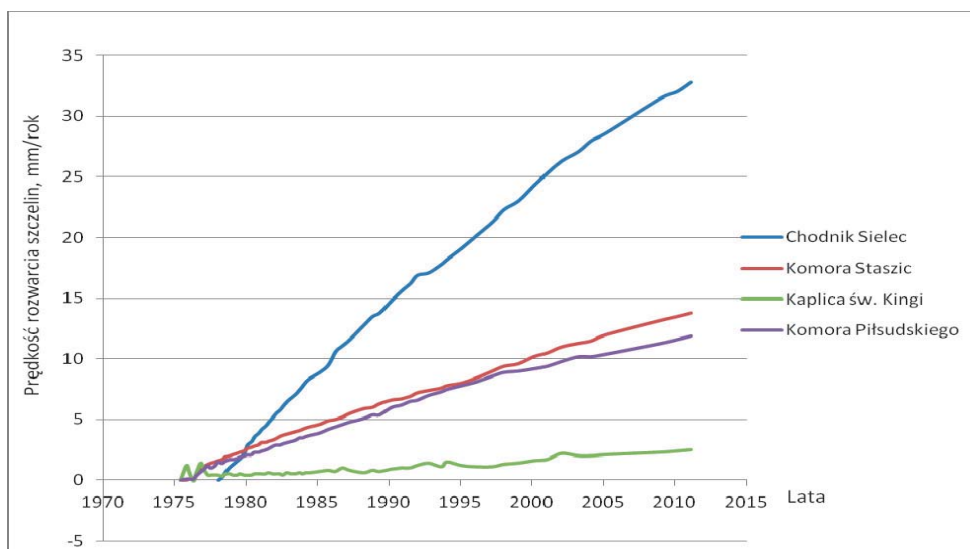


Fig. 4. Zmiany prędkości rozwarcia szczelin na przykładzie czterech wyrobisk

Fig. 4. Changes in the speed of the crack opening

Na wykresie (Fig. 4) obserwuje się niewielkie zmiany o charakterze falującym, wskazujące na zmniejszanie się lub zwiększanie prędkości zachodzących procesów. Występują one szczególnie w okresach wykonywania pomiarów kwartalnych i ukazują wpływ pory roku na powiększanie się lub zmniejszanie rozstawu brzegów szczeliny. Zjawisko to jest analogiczne do występującego w procesie konwergencji. Synchronizacja w czasie zmian ilustrowanych przez wykresy wskazuje na ich wspólną przyczynę, jaką są wahania wilgotności w poszczególnych porach roku i wiążące się z tym nasilenie lub osłabienie procesów rozwierania się lub zwierania szczelin.

ZESTAWIENIE PRĘDKOŚCI ZMIAN SZCZELIN, KONWERGENCJI ORAZ OBNIŻEŃ GÓROTWORU I POWIERZCHNI TERENU

W tabeli 3 zestawiono prędkości ujawniania się procesów zmian szczelinowatości, konwergencji i obniżeń powierzchni oraz górotworu na wyższych poziomach kopalni. Prędkości zmian odległości brzegów szczelin i konwergencji określono na podstawie materiałów pomiarowych. Prędkość obniżeń na poziomach interpolowano lub ekstrapolowano na podstawie wartości obniżeń stwierdzonych w przypadku najbliższych danemu wyrobisku reperów kopalnianej sieci wysokościowej. Prędkości obniżeń powierzchni wyznaczano na podstawie interpolacji ich wielkości z mapy obniżeń dla lat 1970–2010. Ostatnie dwie wielkości należy traktować jako orientacyjne ze względu na przybliżony charakter ich wyznaczania.

Wartości konwergencji nie mogą być naturalnie związane bezpośrednio z procesem obniżeń – zależą one bowiem od różnic w obniżeniach poszczególnych poziomów i warstw górotworu, a także od kształtu wyrobiska. Nie jest także uzasadnione porównywanie konwergencji i szczelinowatości oraz szczelinowatości i obniżeń. Zestawienie powyższe ma na celu określenie innego czynnika – jest nim aktywność górotworu, rozumiana jako wielkość zachodzących w nim zmian (obniżeń, konwergencji, szczelinowatości). Aktywność ta nie decyduje o prawdopodobieństwie wystąpienia zagrożenia powierzchni czy górotworu, może jednak na zwiększenie takiego prawdopodobieństwa wskazywać.

Należy przy tym zauważyć, że wykonywanie obserwacji w sposób dyskretny (nieciągły) nie zwiększa prawdopodobieństwa predykcji zagrożenia. Wyniki obserwacji wskazują w tym przypadku jedynie na ewentualność zwiększenia takiego prawdopodobieństwa w wyniku wzmożonej aktywności skał górotworu. Wiele zagrożeń powstaje jednak w wyniku procesów o charakterze czysto probabilistycznym (np. pożar komory, niszczący jej zabudowę i powodujący w rezultacie zawał; sufozja wodna w obszarze pozazłożowym, przyczyniająca się – przy wystąpieniu dodatkowych czynników ryzyka – do powstania wycieku wodnego itd.). Natomiast istnieją przesłanki, by przewidywać wystąpienie zawałów i tąpnięć w wyniku nagromadzenia się naprężeń w górotworze. Badania przeprowadzone w górotworze węglowym (Sokoła-Szewiwoła 2011) wskazują, że w 75% przypadków wstrząs (zawał, tąpnięcie) poprzedzony był wcześniejszym o kilka, kilkanaście godzin wystąpieniem zaburzenia procesu obniżeń powierzchni (zahamowanie procesu lub wystąpienie wypiętrzeń w miejsce obniżeń). Wykazanie takiego sposobu predykcji zagrożenia wymaga prowadzenia monitoringu ciągłego czy to w wyrobiskach górniczych, czy też na powierzchni terenu.

Z tabeli 3 wynika, że:

- istnieje wyraźna koincydencja obniżeń powierzchni i poziomów górnych (I–III), a różnice w prędkościach powstawania deformacji na poszczególnych poziomach są mało istotne;
- nie ma wyraźnej współzależności konwergencji i szczelinowatości w poszczególnych wyrobiskach kopalni.

Na podstawie szczegółowej analizy można wyróżnić miejsca (komory, wyrobiska chodnikowe), odznaczające się zwiększoną aktywnością powstawania szczelin i wielkością konwergencji.

Tabela (Table) 3

Prędkości ujawniania się procesów propagacji szczelin konwergencji oraz obniżeń powierzchni i górotworu
*Rates of the revealing of the process of the propagation of convergence cracks
 and subsidence of the terrain and rock mass*

Poziom	Szczeliny [mm/rok]				Konwergencje [mm/rok]				Średnia prędkość obniżeń		
	średnia prędkość zmian	średnia prędkość zmian – rozciąganie	maks. prędkość zmian – rozciąganie	średnia prędkość zmian – ściskanie	maks. prędkość zmian – ściskanie	średnia pionowa	maks. pionowa	średnia pozioma	maks. pozioma	poziom	pozioma
Poziom I	0.24	0.51	3.53	-0.23	-4.3	-1.52	-4.4	-1.80	-5.7	16	15
Poziom IIw	0.26	0.36	1.92	-0.16	-1.08	-1.27	-5.5	-0.95	-4.7	14	13
Poziom IIIn	0.05	0.30	1.88	-0.46	-4.95	-1.52	-3.3	-1.36	-5.3	14	15
Poziom III	0.10	0.22	3.05	-0.18	-2.29	-1.85	-8.0	-1.63	-6.7	12	12
Poziom IV	0.51	0.90	2.90	-0.13	-0.28	-	-	-	-	9	11
Poziom V	0.26	0.60	0.64	-0.08	-0.11	-	-	-	-	15	13

WNIOSKI

1. Zapewnienie długiego okresu trwałości zabytkowej kopalni „Wieliczka” wymaga prowadzenia odpowiednich obserwacji, analiz i formułowania na tej podstawie wniosków zmierzających do rozpoznania i oceny swoistych zachowań górotworu i skuteczności zabezpieczeń przed zagrożeniami górniczymi.
2. Rezultaty obserwacji deformacji powierzchni terenu w rejonie głównych szybów kopalnianych wskazują na jej stałe zmniejszanie się (z tendencją do hamowania w ostatnich latach), wynoszące około 14–16 mm/rok wokół szybów „Kinga” i „Daniłowicz” oraz około 20 mm/rok wokół szybu „Kościuszko”. Wpływ procesu zaciskania wyrobisk w centralnej części kopalni na powierzchnię terenu również wykazuje stabilność. Ujawnia się tendencja do zmniejszania się intensywności obniżeń w miarę upływu czasu. Przyczynę tego można upatrywać we wpływie podsadzania wyrobisk oraz zmniejszaniu się ogólnej objętości pustek w górotworze. Takie zmniejszenie nie jest obserwowane we wschodniej części terenu, gdzie wpływ zaciskania wyrobisk na obniżenia powierzchni jest w zasadzie stabilny.
3. Sumaryczna objętość powstałej na powierzchni niecki obniżeniowej wynosi około 2610 tys. m³; przyrost objętości wynosi około 45 tys. m³/rok. Przyrost objętości niecki w ostatnich okresach, wskutek zaprzestania wydobywania, prowadzenia prac podsadzkowych (w latach 2005–2010: przeszło 515 tys. m³) i procesu zaciskania wyrobisk, ulega pewnemu zahamowaniu.
4. Ruch górotworu w rejonie głównych szybów kopalni charakteryzuje się występowaniem przyrostów odkształceń ściskających w środkowych partiach wyrobisk kopalnianych i wykazuje stabilność od dłuższego czasu.
5. Kompleksowa analiza wskazuje, że cały obszar rozciągający się od szybu „Daniłowicz” do szybu „Kościuszko” od powierzchni do poziomu trzeciego objęty jest w górotworze niecką obniżeniową, zalegającą równoleżnikowo, nieco nachyloną ze wschodu na zachód. Część denna tej niecki, obejmująca strefy szybów „Daniłowicz”, „Kinga” i „Kościuszko”, przechodzi na zachodzie i północy w bardziej nachylone skrzydła, a na wschodzie i południu – w łagodne strefy brzeżne. Niecka obniżeniowa ukształtowała się przede wszystkim w rezultacie zaciskania się wyrobisk skoncentrowanej eksploatacji modularnej na poziomie czwartym, międzypoziomie Kołobrzeg oraz na poziomie piątym. Ruch pionowy w części górotworu obejmującej poziomy: czwarty, międzypoziomie Kołobrzeg i piąty ulega, zwłaszcza na zachodzie, zahamowaniu; bezwzględne wartości osiadań średniorocznych i okresowych na tych poziomach są mniejsze niż w kompleksie poziomów, obejmującym powierzchnię i poziomy I–III. Natomiast najniższe poziomy (VI–VIII) pozostają praktycznie nieruchome; roczne wartości zarejestrowanych osiadań lub wypiętrzeń mieszczą się zwykle w granicach dokładności obserwacji lub są rezultatem oddziaływania szeregu czynników o charakterze przypadkowym, trudnym do jednoznacznej identyfikacji. O obniżeniu tych poziomów wskutek oddziaływania procesu zaciskania położonych tu komór ługowniczych świadczy trend wieloletni.

6. Prędkości propagacji szczelin są zróżnicowane i dochodzą do 3,5 mm/rok w przypadku rozwarcia oraz 5 mm/rok w przypadku zaciskania. Różnice prędkości propagacji szczelin między poziomami oraz między złożem bryłowym a pokładowym są nieistotne statystycznie. Prędkości propagacji szczelin wykazują sezonowość, związaną z porą roku, a więc ze zmianami wilgotności i temperatury. Propagacja szczelin, w związku ze stosowaną metodyką pomiaru, nie stanowi wskaźnika deformacji górotworu. Może jednak świadczyć o aktywności górotworu w poszczególnych wyrobiskach.
7. Zestawienie wielkości prędkości konwergencji i propagacji szczelin może wskazywać na aktywność górotworu jako parametr analizy wieloczynnikowej. Zestawienie takie pozwala również wyróżnić wyrobiska odznaczające się zwiększoną prędkością wzrostu obu atrybutów.
8. Prowadzone prace podszkawkowe powodują zahamowanie powstawania deformacji powierzchni, choć proces ten przebiega wolno i nierównomiernie. Skutki prowadzonych prac zabezpieczających uwidoczną się w dłuższych, kilkunasto- i kilkudziesięcioletnich okresach. Ich udoskonalenie i przyspieszenie może przyczynić się do dalszej redukcji deformacji.
9. Należy podkreślić, że rezultaty obserwacji deformacji górotworu i powierzchni metodami dyskretnymi (nieciągłymi) nie stanowią przesłanki do ostrzegania przed zjawiskami mającymi wymiar katastrofy. Część tych zjawisk ma charakter losowy, nie może więc być przedmiotem prognozy. Zjawiska wywołane wzrostem naprężeń w górotworze można w niektórych przypadkach wykrywać za pomocą ciągłego monitoringu procesu deformacji. Weryfikacja tej możliwości w górotworze solnym wymaga prowadzenia odpowiednich badań.
10. Do określania stopnia zagrożeń powierzchni terenu i znajdujących się na niej obiektów oraz monitorowania aktywności wyrobisk kopalni konieczne jest dalsze prowadzenie obserwacji geodezyjnych zarówno na powierzchni, jak i w wyrobiskach kopalni, w dotychczasowych odstępach cykli pomiarowych.
11. Do nowoczesnych metod obserwacji należy skanowanie laserowe oraz zastosowanie tachimetrów skanujących. Zalecaną metodą obserwacji za pomocą tachimetru skanującego z błędem położenia punktów celu około 1–3 mm jest metoda przekrojów wykonywanych w niewielkich odstępach. Zwiększenie dokładności (minimalizację błędu interpretacji) można osiągnąć przez umieszczenie stałych punktów początku i końca przekroju, standaryzację rozdzielczości kątowej instrumentu podczas obserwacji, a także zachowanie zbliżonych wysokości instrumentu w kolejnych cyklach pomiarowych. Zastosowanie skaningu laserowego pozwala na wyznaczenie położenia dowolnego punktu na ścianach wyrobiska z dokładnością ± 1 cm; sposób pomiaru umożliwi stworzenie quasi-ciągłego modelu wyrobiska, pozwalającego na realizację różnorodnych zadań i projektów inżynierskich. Skanowanie laserowe jest technologią wyjątkowo szybką i pozwalającą na uzyskanie olbrzymiej liczby danych w bardzo krótkich odcinkach czasowych. Równocześnie jest to optymalna technologia do obliczenia konwergencji powierzchniowej i objętościowej, umożliwiającą sprawdzenie teoretycznych modeli, służących do prognozowania deformacji górotworu. Zaleca się dalsze wdrażanie tej technologii w celu prowadzenia inwentaryzacji wyrobisk oraz badania konwergencji objętościowej.

LITERATURA

- Kortas G. (red.), 2004. *Ruch górotworu i powierzchni w otoczeniu zabytkowych kopalń soli*. Wyd. IGSiE, Kraków.
- Kortas G., 2007. Przemieszczenia powierzchni nad historyczną kopalnią w Wieliczce. *Prze-gląd Górniczy*, 3.
- Nieć M., 1982. *Geologia kopalniana*. Wyd. Geologiczne, Warszawa.
- Siembab J., 1970. Geometryzacja złóż. W: *Poradnik górnika, t. 1*, Wyd. Śląsk, Katowice.
- Sokoła-Szewiwoła V., 2011. *Badanie i modelowanie czasowych zmian przemieszczeń pionowych terenu górniczego w okresie wystąpienia wstrząsu indukowanego eksploatacją ścianową*. Wyd. Politechniki Śląskiej, Gliwice.

Pracę wykonano w ramach badań statutowych nr 11.11.150.195.

Summary

Preserving the historic mine of Wieliczka requires proper observations, analyses and conclusions based on these observations, leading to the detection and assessment of the rock mass movements and the efficiency the security measures against mining threat. The observations results of deformations in the surface of the area and rock mass, as well as the propagation of cracks in the w rock mass, indicate that:

1. Slow subsidence of the surface of the mining terrain in the region of main mine shafts (with a decreasing trend within the recent years), equalling about 14–16 mm/year around the shafts of “Kinga” and “Daniłowicz” and about 20 mm/year around “Kościuszko”. The influence of the convergence process in the central part of the mine on the surface is also stable. Such decrease is not observed in the eastern part of the mining area.
2. Total volume of the subsidence trough formed on the surface is about 2610,000 m³; volume growth is about 45,000 m³/year. The growth of the trough volume, due to the end of exploitation and stowing (over 515,000 m³ in 2005–2010) and convergence process has been halted in the recent times
3. The movement of the rock mass in the region of main shafts of the mine is characterized by the increase of contracting strains in central parts of mine workings and has been stable for a long time.
4. The speeds of the propagation of cracks are differentiated and reach up to 3.5 mm/year in case of opening and 5 mm/year in case of convergence. The differences in the speed of the propagation of cracks between the levels and between the lump deposit and seam deposit are not statistically significant. The speeds of the propagation of cracks show seasonal variation, connected with changes in humidity and temperature. The propagation of cracks, due to the applied methodology of measurement does not make the index of the rock mass deformation. Although it can indicate the activity of the rock mass in subsequent workings.

5. The whole area from the “Daniłowicz” shaft to the “Kościuszko” shaft from the surface to the third level in the rock mass is within the subsidence trough, situated alongside the parallels, slightly sloped, from the east to west. The bottom part of the trough, covering the areas of shafts “Daniłowicz”, “Kinga” and “Kościuszko”, in the west and north converts into more sloping wings, and in the east and south – into mild bank zones. The subsidence trough was formed first of all as a result of the convergence of the workings after the concentrated modular exploitation on the fourth level, inter-level Kołobrzeg and on the fifth level. The vertical movement in the party of the rock mass, covering levels: IV, inter-level Kołobrzeg and V, is, especially in the west, getting halted; absolute values of mean annual and temporal subsidence in these levels are smaller than in the complex of levels covering the surface and levels I–III. The lowest levels (VI–VIII) were practically not moving.

One should stress that the results of the observation of the deformations in the rock mass and surface with discrete (non-continuous) methods do not give reasons for warning against phenomena of the catastrophic scale. A part of these phenomena have a random character, thus cannot be the subject of the forecast. The phenomena caused by the growth of threat in the rock mass, in some cases, can be discovered by continuous monitoring of the deformation process. The verification of this possibility in the halite rock mass requires proper studies.